心理科学进展 2018, Vol. 26, No. 8, 1374–1382
Advances in Psychological Science DOI: 10.3724/SP.J.1042.2018.01374

·研究前沿(Regular Articles)·

回溯式时距估计的计时机制*

杨莲莲 黄希庭 岳 童 刘培朵

(西南大学心理学部, 重庆 400715)

摘 要 回溯式时距估计是以记忆为主要成分, 且事后才知要对两个相继事件之间的间隔时间或某一事件持续时间的长短进行估计。可分为近时和远时的回溯式时距估计, 两者的计时机制与记忆有关, 但各有侧重: 前者侧重短时或长时记忆, 直接证据来源于即时回忆单一或多个认知任务以估计时间, 间接证据则聚焦于物理、生理、心理因素的影响; 后者侧重自传体记忆, 可从问卷或访谈的测量方式以及主客体特征的影响两个方面来寻找证据。今后需以整合的观点深入探究回溯式时距估计的计时机制, 拓展回溯式时距估计行为测量的研究, 并开展对回溯式时距估计神经生物学基础的探讨。

关键词 回溯式时距估计; 计时机制; 自传体记忆; 时间距离; 时间标记

分类号 B842

1 引言

日常生活中, 人们对时间的感知和估计独特且无意识(Janssen, 2017)。例如, 写手每天忙于写作而不关注时间, 事后猛然发现时间已过去很久, 恍然如梦; 再比如, 案发现场目击证人对案件持续时间的精确回忆对案件侦查有着至关重要的作用。这种对过去时间长短的评估现象与回溯式时距估计有关。

目前, 学者对回溯式时距估计的界定大都来自于回溯式计时(retrospective timing, see Zakay & Block, 2004), 即被试在实验前不知道要进行时间长短的估计, 刺激呈现或实验结束后才要求被试对刺激呈现的时距进行估计。有研究指出时距是指两个相继事件之间的间隔时间或某一事件的持续时间的长短(Fraisse, 1984), 且被试在任务中多关注刺激环境的非时间特性, 更多的依赖于记忆重新建构的过程(Brown, 2010)。实际上, 早在1976 年之前就有对它的研究, 称为“回忆式时距(remembered duration)”, 与“体验式时距(experienced duration, 即前瞻式时距 prospective duration)”相对。基于此, 我们界定回溯式时距估计是指以记忆为主要成分, 且事后才知要对两个相继事件之间的间隔时间或某一事件的持续时间的长短进行估计。

因研究范围及侧重点的不同, 回溯式时距估计与回溯式时间记忆有些许不同。回溯式时间记忆侧重时间的回忆, 包含时点、时距、时序三个方面(黄希庭, 邓麟, 张永红, 2004; 张永红, 黄希庭, 2005; Pathman, Doydum, & Bauer, 2013; Pathman & Ghetti, 2014), 而回溯式时距估计的研究侧重时间, 只针对时距。对回溯式时距估计的研究有助于扩充整个时间估计领域(邹枝玲, 黄希庭, 2007)。这一内隐或自动的时间整合过程(implicit or automatic temporal synthesis)能提高人们知觉事件的能力, 且对改善当前的行为策略有重要意义 (Martin et al., 2014)。

回溯式时距估计可从不同的角度进行分类, 依据回溯到过去的时间距离的长短, 主要可将其分为两类: 近时的回溯式时距估计(即立即估计时距)和远时的回溯式时距估计(即延迟估计时距); 依据回溯事件的内容, 可将其分为公众事件和个人事件的回溯式时距估计。因回溯式时距估计的

收稿日期: 2017-05-09
* 重庆市人文社会科学重点研究基地项目“未来思考的心理机制及其应用研究” (14SKB008)资助。
通信作者: 黄希庭, E-mail: xthuang@swu.edu.cn

重要成分是记忆，对时间的估计依赖于记忆的编码、存储和提取过程(Dzaack, Trösterer, Pape, & Urbas, 2007)。且由于回溯式时距估计一般采用长时距(Grondin, 2010)，如实验室中的研究多采用9 s或15 s的目标时距；生态学的研究则大多采用10 多分钟甚至达到 1 小时左右(Bisson, Tobin, & Grondin, 2012; Tobin, Bisson, & Grondin, 2010)。因此，近时的回溯式时距估计是以短时或长时记忆为主要成分，远时的回溯式时距估计则以自传体记忆为主要成分。值得注意的是，记忆与时间并不是孤立存在的：以动态的观点来看，记忆随时间流逝而变化(Hintzman, 2016)；以静态的观点来看，时间距离不同，记忆类型不同，事件表征方式不同，则时距估计也不同。

近来，时距估计的计时性理论模型得到发展(如标量计时模型，详见姚竹曦，张亮，张侃，2015)，但大多是基于前瞻式时距估计的证据，回溯式时距估计的研究证据很少(邹枝玲,黄希庭, 2007)。换句话说，回溯式时距估计计时机制并未得到系统研究。比如，回溯式时距估计是如何计时的？内在逻辑是什么？神经生物学基础又是怎样的？这都是回溯式时距估计计时机制问题的体现。针对这一问题，本文将在前人研究基础上，系统探讨远近时间距离下回溯式时距估计的可能计时机制，从研究范式和影响因素两个方面梳理证据，并对未来研究进行展望。

2　近时的回溯式时距估计的计时机制

2.1　理论假设

注意闸门模型(attentional gate mode, AGM)将时间信息(起搏器产生的脉冲)、对时间的注意(即闸门打开程度)、时间记录的开始与结束(开关的打开与闭合状态)以及脉冲累加(累加器的计数作用)等过程串联起来共同表述计时阶段。它认为在回溯式时距估计中只有少数脉冲通过闸门，且闸门开放较窄(邹枝玲，黄希庭，2007)。这表明回溯式时距估计的计时机制可能与前瞻式时距估计的计时阶段相似，即回溯式时距估计的计时可能是由闸门或开关控制累加器中脉冲的数量实现的。例如，在回溯式时距估计任务中，与低注意水平任务相比，阿兹海默症(Alzheimer disease, AD)患者在高注意水平任务下更低估时距，这可能是由于高注意水平任务中对时间的注意减少，累加器中的脉冲数量较少所导致的(El Haj, Omigie, & Moroni, 2014)。然而，注意闸门模型主要用于解释前瞻式时距估计而非回溯式时距估计(Block & Gruber, 2014)，这可能是由于两者在对时间的注意上有区别，前者要求注意时间，后者要求注意事件。值得注意的是，还有研究认为注意闸门在回溯式判断中不允许脉冲通过(陈有国，黄希庭，尹天子，张锋，2011)，这与先前的阐述有矛盾，可见仅用注意闸门理论解释回溯式时距估计的计时机制远远不够。

通常情况下，回溯式时距估计的计时并非像前瞻式时距估计的专有模型(dedicated models，指一类具有明确计时阶段的以模块化为核心的理论模型。比如，起搏器−累加器模型(pacemaker-accumulator model)、注意闸门模型、计时的光谱模型(spectral models of timing，例如一组振荡器阶段性的交互作用等)、神经结构方面则聚焦于某一特定脑区(例如小脑、基底神经节、辅助运动区、前额等)的计时假说等，详见 Ivry & Schlerf, 2008)那样具有专门的计时阶段，人们更倾向基于记忆的理论解释，例如存储容量模型(storage size model)、变化/分割模型(change / segment model)、背景变化模型(context-change model) (Zakay & Block, 2004)，它们认为回溯式时间长短的估计取决于非时间信息加工任务的复杂度、难度、有意义的分割片段或背景变化的数量(张志杰，黄希庭，2005a)，这些理论得到一些实证结果的支持(Matthews, 2013)。例如，近来有研究用词表法定向遗忘范例(list-method directed forgetting paradigm，具体流程是让被试学习多个词表，在每个词表学习完后要求被试记住或忘掉先前学习过的词表，最后随机对其中一个词表进行测试。)和前一个词表范例(list-before-last paradigm，早期记忆范例，要求被试学习多个词表，在每个词表(除第一个词表外)学习完后要求被试提取前一个而非当前的词表内容。)确定回溯式时间估计是内部背景变化的标记，支持背景变化模型(Sahakyan & Smith, 2014)。基于记忆的这些理论解释可从研究范式和影响因素中寻找证据。

2.2　来自研究范式的直接证据

近时的回溯式时距估计计时机制的直接证据主要体现在实验室的测量中，聚焦于秒或分、小时、天范围内的时距，此时短时记忆(秒)或长时记忆(分、小时、天)参与进来，时距的估计比较准确。

此研究范式对任务的时间记忆有很高的要求，决定了近时回溯式时距估计的计时机制。具体来看，研究要求被试任务完成后立即估计时距，更多的依赖于短时记忆。例如，专门采用“记忆测验”任务，在两个黑色正方形中间呈现字母/数字/汉字，实验前要求被试对刺激材料进行回忆或加工深度的判断，实验结束后才要求被试估计两黑色正方形之间的时间间隔，此时距大约持续 9s 或 15s (戴冰，杜金，张惠，2013；张志杰，黄希庭，2005a；张志杰, 2003)。

值得注意的是，此研究范式下通常一个被试只进行一次实验(Thoenes & Oberfeld, 2017)，为了提高数据收集的效率，研究者扩充实验任务，当全部任务结束后才要求被试进行时间的估计，一般涉及长时记忆。例如，有研究采用音乐片段或生活中的声音(例如，噪音、婴儿哭声、脚步声等)这种听觉刺激探究回溯式时距估计(Bisson, Tobin, & Grondin, 2009)；还有研究采用不同视觉认知任务进行探究。比如，进行一系列命名任务及数字递减任务(Grondin & Plourde, 2007)或从生态学角度探究日常生活中玩电子游戏或读报纸任务的时距估计能力(Bisson et al., 2012)。有时为减少被试对实验目的的猜测，将它们与其他心理测试混合，并将不同时距估计任务分批次间隔一段时间测量(El Haj et al., 2017)。这种扩充实验任务的方法在一定程度上可提高数据收集的效率，但增大了时间任务的回忆负荷，且易造成任务持续时间的混淆，不利于时间记忆的提取。

尽管回溯式时距估计不能进行多次实验，不可扩充过多的实验任务，但可采用不同的估计方法。例如，除与前瞻式时距估计相同的方法(如口头估计法、产生法或复制法等)之外，还可采用线段划分法(用竖直小线段分割整个线段)或时距范围估计法(在线段中标出每个任务持续时间的最小值与最大值)，它们主要针对多项任务实验(Bisson et al., 2009; Grondin & Plourde, 2007)，这在一定程度上可防止任务持续时间的混淆。由于时间的估计方法代表着独特的信息加工过程，甚至同一估计方法不同的按键方式对时距估计也有影响(Mioni, Stablum, McClintock, & Grondin, 2014; Thoenes & Oberfeld, 2017)。因此，在解释回溯式时距估计时需要注意估计方法以及按键方式的差异。

总之，以上回溯式时距估计的研究范式决定了记忆的不同类型(即短时记忆和长时记忆)参与回溯式时距估计的计时过程，充分说明近时的回溯式时距估计是聚焦于时间记忆的实验室研究。

2.3 来自影响因素的间接证据

近时回溯式时距估计的理论假设为时距估计的计时机制提供了方向，研究范式直接决定了此计时机制与记忆密不可分，物理、生理及心理三方面的影响因素则间接地证明了回溯式时距估计的计时机制是基于记忆的，具体阐述如下。

第一，物理影响因素是通过作用于记忆进而影响回溯式时距估计的准确性(Block & Gruber, 2014)。比如，有研究表明熟悉刺激比陌生刺激产生更长的回溯式时距(Block, Hancock, & Zakay, 2010; but see 张宇迪，史慧颖, 2010)，可能说明刺激的熟悉性有利于信息的编码和提取，从而增强记忆导致时距增长(Block et al., 2010)。再比如，刺激越复杂，记忆负荷越大，时距高估现象越明显(Block et al., 2010)，这充分说明记忆在时距估计中的作用，支持存储容量模型。另外，有研究表明频率恒定刺激比变化刺激更易高估时距(Firmino, Bueno, & Bigand, 2009)；但速度的变化似乎不影响回溯式时距估计(Darlow, Dylman, Gheorghiu, & Matthews, 2013)，这可能是由于较小的速度变化导致的(Kashiwakura, & Motoyoshi, 2017；刘瑞光, 2005)。即当回溯时距时，物体的背景变化使得记忆变得复杂，从而产生时距的不准确，这支持了背景变化模型(Block et al., 2010)。

第二，年龄和性别的生理因素影响回溯式时距估计，其内在原因主要聚焦于情景记忆能力。例如，有研究探讨了年老组与年轻组在不同估计方法上的回溯式时距估计能力，结果不尽相同。在口头估计时距中，年老组比年轻组表现出对目标时距的高估(张志杰, 2003)，在复制法中则表现出低估(张志杰，黄希庭, 2005a)；而戴冰(2013)等研究在估计方法(口头估计和复制法)上没有显著的年龄差异，且两个年龄组都表现出低估现象。这可能是由于老年人情景记忆的损伤或两个年龄组记忆编码提取的策略不同。性别上的研究较少，Block, Hancock 和 Zakay (2000)研究回溯式时距估计的性别效应，结果表明女性往往比男性高估时距，这可能与情景记忆能力的性别差异有关，即相较于男性，女性具有更好的情景记忆能力。这

种聚焦于情景记忆的解释间接说明回溯式时距估计的计时机制与记忆紧密相关。

第三, 心理因素的研究更多关注情绪对回溯式时距估计的影响, 这可能是通过记忆机制起作用(Droit-Volet & Meck, 2007; Lake, 2016)。例如, 有研究认为消极情绪导致回溯式时距判断的高估(Block & Gruber, 2014), 长时记忆或工作记忆也易受到情绪的影响(马谐, 陶云, 胡文钦, 2009), 因此可推断情绪(唤醒或效价)对回溯式时距估计的影响也许是通过记忆实现的, 这一机制的解释不同于预期式时距估计, 后者认为情绪的高唤醒导致内部时钟加速进而产生时距的高估现象(Droit-Volet & Berthon, 2017; Yamada & Kawabe, 2011)。总之, 近时的回溯式时距估计的影响因素大多落脚到记忆的解释, 可见记忆在回溯式时距估计中的重要作用, 为基于记忆的计时机制提供了间接证据。

由此可见, 近时的回溯式时距估计的计时机制大多来源于记忆的理论模型, 比如存储容量模型、变化/分割模型和背景变化模型。也就是说, 近时回溯式时距估计的计时机制是以记忆及其背景为基础的, 可见记忆在回溯式时距估计中的重要作用。实验室的研究范式直接决定了短时记忆和长时记忆参与到近时回溯式时距估计的计时机制中, 为验证这些假设的有效性提供基础, 物理、生理与心理因素基于记忆的解释为计时机制提供了间接证据, 这进一步验证回溯式时距估计计时的理论假设。然而, 此研究中的事件或任务一般是经过严格的控制筛选且外部效度较低, 不利于扩展回溯式时距估计的实践意义。

3　远时的回溯式时距估计的计时机制

3.1　计时假设

远时的回溯式时距估计的计时机制可能依据过去事件的时间标记(temporal landmarks)。时间标记是指可确定日期的参照事件, 一般分为公众事件或闪光灯记忆, 第一次经历的个人事件以及日历中的参照点这三种(Birth, 2017)。在进行远时回溯式时距估计时首先要获取时间标记, 获取时间标记的方法一般是询问被试事件大体发生在什么时间(比如两年前), 然后再进一步询问细节以确定事件的持续时间, 最终进行定性或定量评价(Jack, Friedman, Reese, & Zajac, 2016)。具体来说, 要求被试进行自传体记忆时距估计时, 人们会依据过去事件发生的具有特殊意义的时间标记, 确定标志性事件后大致估计其发生的时间, 并推断事件持续多久。这些也可从研究范式和影响因素中得到启发。

3.2　来自研究范式的直接证据

远时回溯式时距估计的研究范式主要聚焦于问卷和访谈的测量形式, 追溯个体久远过去(数周、数月或数年前)的事件, 对事件持续的时间没有特别要求, 这时需要调用自传体记忆中的知识储备, 时距估计相对不准确。这种测量方式充分体现了自传体记忆在时间流逝中的作用。

具体来说, 这些研究一般要求被试回忆先前发生的新闻事件或自身经历过的日常生活事件的持续时间, 事件来源于过去几周、几个月或几年不等, 持续时间也从天到月不等(黄希庭等, 2004; 张永红, 黄希庭, 2005)。这种回溯到时间久远的时距估计(即自传体记忆时距估计)往往与自传体记忆的心理时间旅行(mental time travel)高度相关(El Haj, Moroni, Samson, Fasotti, & Allain, 2013), 这可能是因为两者都依赖情景记忆。来自 AD 患者的研究阐述了时距估计、心理时间旅行以及情景记忆三者之间的双向调节, 认为时间紊乱可能诱发心理时间旅行能力的降低, 从而导致 AD 患者情景记忆能力的损伤。反之, AD 患者情景记忆损伤可能导致主观时间投射或时间信息提取能力的丧失(El Haj & Kapogiannis, 2016)。除此之外, 远时回溯式时距估计与心理时间旅行在研究范式上有联系: 相同点在于两者都关注时间长短, 远时回溯式时距估计中, 公众事件的回溯式时距估计要求事件的持续时间超过一天, 个人事件的回溯式时距估计则无此要求, 而心理时间旅行关于过去时段的研究一般是提供时间距离(过去一个月或过去一年), 然后要求被试回忆此时段内发生的事情, 必须要有具体的时间、地点和情节, 且规定持续时间在几分钟到几个小时之间但不可超过一天, 通常不关注事件具体持续多久(Szpunar & Schacter, 2013; Weiler, Suchan, & Daum, 2010); 差别在于它们关注时距的位置不同: 心理时间旅行聚焦于从现在回溯到过去的某个事件之间的时距信息, 类似于一种空时距(blank duration, 只有起止刺激, 以间隔方式呈现的时间; 见毕翠华, 黄希庭, 2011), 而远时回溯式时距估计更关注过去

某个事件发生的时间长度，并不特指以现在作为起点，类似于一种实时距(full duration，刺激延续一段时间，以持续方式呈现的时间；见毕翠华，黄希庭，2011)。

总之，无论关注哪段时间，远时回溯式时距估计与心理时间旅行都有对时间长短的估计，需要调动被试的个人经历(即时间标记)，完成回溯式时距估计任务。

3.3 来自影响因素的间接证据

不经意间对久远事件的时间估计往往涉及自传体记忆的心理时间。影响远时回溯式时距估计的因素与时间距离及事件发生的时间点有关(龚先昊，王大华，付艳，2013)，通常受到客体和主体特征的影响。具体来说，客体特征的影响主要体现在事件的重要性、可获得性与熟悉性上(张永红，黄希庭，2005；尧国靖，张锋，2013)。因自我与自传体记忆提取有着密不可分的关系，所以主体的影响聚焦于自我的作用(Freton et al., 2014)。比如，自我卷入程度和对事件的关注度、主体自身所具有的推论知识的储备(一般知识、原型知识)等都影响时距估计的准确性。一般来说，事件本身获得性越高，丰富程度越高，主体的知识储备越多，自我卷入程度越高，时距估计就越准确。主客体特征通过作用于时间标记从而影响回溯式时距估计，这一点充分体现远时的回溯式时距估计是基于记忆的一种时距表征。

由此看来，远时的回溯式时距估计聚焦久远的自传体记忆时距估计，与心理时间旅行中不同的时间距离研究密切相关(Coughlin, Lyons, & Ghetti, 2014)，启动重大事件，特别是与个人休戚相关事件的时间标记。其研究范式和影响因素证据表明远时的回溯式时距估计的计时机制主要强调时间标记的作用，即确定事件开始与结束的大致时间点，或者根据个人经验即个体自身具有的推论知识(例，依据平时打球的时长推断在球场上发生重大事件的时间长短)，进而推断事件的持续时间。此研究范式有较高的外部效度，具有一定的实践意义。

4 总结与展望

顾名思义，回溯式时距估计指向过去时间。本文尝试性的以回溯到过去的时间长短为依据系统阐述回溯式时距估计的计时机制，这为构建回溯式时距估计的理论提供了可供参考的框架。值得说明的是，远近时间的回溯式时距估计的计时机制既有联系又有区别。两者都关注记忆的作用，侧重点不同。比如，近时的回溯式时距估计侧重记忆的内在细节，严格实验室的研究结果有助于促进回溯式时距估计的理论构建；远时的回溯式时距估计更关注自身所经历的重要时间标记，重大事件时距估计的准确性对个人的成长与发展具有促进作用。更进一步，如果将时间距离的远近看作是动态连续的过程，那么随着时间的流逝，记忆的衰减强度或许可充当回溯式时距估计的计时器(Staddon, 2005)，这为计时的固有模型(intrinsic models，指一类否定时间感知的专有计时器存在的理论模型，这些模型认为感觉和认知加工过程可充当计时器。比如，时间流逝过程中记忆衰减的强度、特定任务中认知或情绪的努力程度、感觉通道的特定模式加工(即以视觉形式呈现的时距则依赖于视觉区域的神经元的动力，以听觉形式呈现的同样时距则依赖于听觉区域的相似操作)、状态依存网络模型(state-dependent network model，即由短期突触可塑性(short-term synaptic plasticity)产生的感觉加工的神经动力学基础 see Buonomano & Maass, 2009)等都可充当计时器。详见 Ivry & Schlerf, 2008)提供有力的证据(Wittmann, 2013)。从这个角度出发，回溯式时距估计的计时机制将构成一个基于记忆的整体。然而，目前来讲，回溯式时距估计的计时机制还比较粗糙，这也许与有限的研究范式和影响因素的证据有关，未来可在以下三个方面开展研究。

第一，需以整合的观点深入探究回溯式时距估计的计时机制。回溯式时距估计的计时机制以不同时间距离为分割线，从研究范式和影响因素两方面寻找证据，认为远近时间的回溯式时距估计的计时本质上都是基于记忆的时间估计，并且是从“现在”时间点回溯到过去某个时间点的动态连续的过程。因此，未来需以整合的观点多角度地探究回溯式时距估计。比如，从加工过程来看，在回溯式时距估计背景环境中，主体注意到事件显著性(salience, see Matthews & Meck, 2016)，受当前情绪的影响，主动调动记忆储存的时距信息，做出时距估计的判断。从与前瞻式时距估计的对比来看，回溯式时距估计与潜意识、无意注意的关系以及时间的自动与非自动加工本质等都值得

探究(Vallesi, Arbula, & Bernardis, 2014)。从回溯式时间记忆的角度出发，未来需进行生态性较高的现场实验(Grondin & Plourde, 2007)，探究与人们生活密切相关的时间记忆，聚焦时距、时序、时点三者的关系研究将具有更大的现实意义。

第二，需拓展回溯式时距估计行为测量的研究。目前，尽管近时的回溯式时距估计能力的测量可同时采用不同的方法(例如，口头估计法、复制法或线段划分等，see Grondin & Plourde, 2007; 张志杰，黄希庭，2005a)，但其收集数据的效率不高，通常一个被试只能进行一次，而不能重复多次(张志杰，黄希庭, 2005b)。尽管可扩充任务个数，但多个任务之间很可能会相互干扰，任务的性质也不尽相同，这样数据的变异性就会增大(Wearden, 2016)。因此，未来需拓展研究范式提高数据收集效率，增大样本量减少数据的变异性。另外，对已有测量的认识也说明未来需增加回溯式时距估计人口统计学(如人格或职业类型、经济水平、动机水平等, see Gable & Poole, 2012)的比较研究，可探讨记忆类型(如自传体记忆或情景记忆)在回溯式时距估计中的作用，也可探讨负荷(认知负荷或身体负荷)对回溯式时距估计的影响(Block, Hancock, & Zakay, 2016)。采集电生理测量指标(如皮肤电、呼吸、心率等, see Fung, Crone, Bode, & Murawski, 2017)，可增进回溯式时间记忆领域的发展(黄希庭等, 2004)。

第三，需开展对回溯式时距估计神经生物学基础的探讨。已有研究表明记忆在回溯式时距估计中的作用主要聚焦于前额叶、左内侧颞叶及海马区域。例如，早期研究认为前额叶参与情景记忆的编码和提取过程(张志杰，2002)。近来，MacDonald, Fortin, Sakata 和 Meck (2014)认为海马和纹状体的交互作用支持回溯式时距估计；同年，MacDonald (2014)认为海马在编码回溯式时间记忆中有着重要作用。然而，回溯式时距估计神经机制的直接研究很少(Bisson et al., 2009)，这可能有两方面的原因：其一，是由于回溯式时距估计的单试次与神经机制探究方法所需的多试次叠加相悖，研究方法的不匹配使回溯式时距估计的神经机制研究受阻；其二，回溯式时距估计因与记忆密不可分，两者激活的脑区并不能很好的得以区分，这对探究回溯式时距估计的神经机制具有很大的挑战。但有研究尝试性地用经颅磁刺激技术(Transcranial Magnetic Stimulation, TMS)抑制右侧额下回探究自传体记忆时间估计，并未达到统计学意义(韩志勇, 2012)。这也许与脑区定位不精准有关，正如先前所阐述的，回溯式时距估计与海马、内侧颞叶有很大关系，TMS 探测不到，因此效果不明显。基于此，未来可尝试性地采用三种途径探究回溯式时距估计的神经机制。一种是探究颞叶及额叶区域受损患者在回溯式时距估计的表现。例如，Noulhiane, Pouthas, Hasboun, Baulac 和 Samson (2007)比较颞叶受损病人与正常被试回溯式时距估计能力，认为左内侧颞叶损伤的个体表现出回溯式时距估计的缺陷。近来，有研究探讨柯萨可夫综合征患者(Korsakoff’ syndrome，前额受损且表现出顺行性遗忘)的回溯式时距估计能力，发现与正常健康组相比，柯萨可夫征患者表现出时距的低估现象(El Haj et al., 2017)。未来可收集具有特定遗忘倾向的患者(比如，逆行性遗忘症患者)在回溯式时距估计任务的表现，这对了解颞叶、额叶等与记忆相关的脑区在回溯式时距估计中的作用至关重要。第二种可探究健康被试在回溯式时距估计任务中的脑区激活。这就需要在满足回溯式时距估计界定的基础上拓展研究试次或寻求用于测量单试次时距估计神经机制的方法，在此基础上还能扩展回溯式时距估计影响因素的脑机制研究。例如，依据消极情绪唤醒引发的外显时距高估现象定位在右侧额下回(Pfeuty, Dilharreguy, Gerlier, & Allard, 2015)，且回溯式时距估计可能具有左半球偏侧化(Wiener, Turkeltaub, & Coslett, 2010)，可推测情绪影响回溯式时距估计的具体脑区也许会在左侧额下回、海马或内侧颞叶(MacDonald, 2014; MacDonald et al., 2014)，这还需要进一步验证。第三种可聚焦于神经元或基因水平的探讨，这对探究回溯式时距估计的深层表征起关键作用。例如，已有动物研究发现，海马“时间细胞”的集合可能表征着逐渐变化的时间背景信号，提供刺激间的时距信息(Eichenbaum, 2013; Naya & Suzuki, 2011)，这也许是海马 CA1 区的功能(Howard et al., 2014; MacDonald, Lepage, Eden, & Eichenbaum, 2011)。还有研究指出儿茶酚-O-甲基转移酶基因(the catechol-O-methyltransferase gene, COMT)多态性使前额释放大量多巴胺，记忆变异性减少，长时距估计更准确(Balcı, Wiener, Çavdaroğlu, & Coslett, 2013; Nicholas, 2015; Wiener, Lohoff, & Coslett, 2011)。未来需进一步深化或开

展特定神经元或基因水平(例如，基因与基因的交互作用以及基因与环境的交互作用分析等)的研究，这将在神经生物学水平上为回溯式时距估计理论模型的构建提供可能。总之，无论采用哪种途径，回溯式时距估计神经机制的探讨将填补认知神经科学领域中回溯式时距估计的空缺，也为时距估计神经振荡模型的建构(例如纹状体拍频模型 striatal-beat frequency model (SBF)，兴奋抑制振荡模型 excitatory-inhibitory oscillation model (EIO), see Gu, van Rijn, & Meck, 2015)提供证据。

参考文献

毕翠华，黄希庭. (2011). 非语言情境中时间加工与空间距离加工的关系. *心理科学进展, 19*(3), 346–354.

陈有国，黄希庭，尹天子，张锋. (2011). 时间知觉的理论模型与展望. *西南大学学报(社会科学版), 37*(5), 26–33.

戴冰，杜金，张惠. (2013). 老年人回溯式时距估计的特点. *中国老年学杂志, 33*(14), 3385–3387.

龚先昊，王大华，付艳. (2013). 成年女性情景自传体记忆的现象学体验：年龄与时间的作用. *心理科学, 36*(5), 1101–1105.

韩志勇. (2012). *自传体记忆时间估计的神经机制研究*(硕士学位论文). 首都师范大学，北京.

黄希庭，邓麟，张永红. (2004). 回溯式时间记忆特点的实验研究. *心理与行为研究, 2*(4), 561–566.

刘瑞光. (2005). *短时距标量计时模型研究* (博士学位论文). 西南师范大学，重庆.

马谐，陶云，胡文钦. (2009). 时距知觉中的情绪效应. *心理科学进展, 17*(1), 29–36.

尧国靖，张锋. (2013). 自尊水平、事件效价与时距对过去事件时距估计的影响. *心理发展与教育, 29*(1), 18–22.

姚竹曦，张亮，张侃. (2015). 标量计时模型的影响因素及发展. *心理科学进展, 23*(5), 784–792.

张永红，黄希庭. (2005). 公众时间回溯式记忆的特点. *心理科学, 28*(4), 775–779.

张宇迪，史慧颖. (2010). 任务熟悉度对回溯式时距估计的影响. *心理科学, 33*(4), 896–899.

张志杰. (2002). *时距估计年老相关差异的实验研究* (博士学位论文). 西南师范大学，重庆.

张志杰. (2003). 回溯式时距估计年龄差异的实验研究. *心理科学, 26*(4), 587–589.

张志杰，黄希庭. (2005a). 回溯式时距估计的年龄差异. *心理科学, 28*(5), 1039–1042.

张志杰，黄希庭. (2005b). 时距认知的年龄差异. *西南大学学报：社会科学版, 31*(6), 1–5.

邹枝玲，黄希庭. (2007). 注意在短时距估计中的作用. *心理科学, 30*(3), 624–628.

Balcı, F., Wiener, M., Çavdaroğlu, B., & Coslett, H. B. (2013). Epistasis effects of dopamine genes on interval timing and reward magnitude in humans. *Neuropsychologia, 51*(2), 293–308.

Birth, K. K. (2017). Past times: The temporal structuring of history and memory. In *Time blind* (pp. 71–91). Springer International Publishing.

Bisson, N., Tobin, S., & Grondin, S. (2009). Remembering the duration of joyful and sad musical excerpts: Assessment with three estimation methods. *NeuroQuantology, 7*(1), 46–57.

Bisson, N., Tobin, S., & Grondin, S. (2012). Prospective and retrospective time estimates of children: A comparison based on ecological tasks. *PLoS One, 7*(3), e33049.

Block, R. A., & Gruber, R. P. (2014). Time perception, attention, and memory: A selective review. *Acta Psychologica, 149*, 129–133.

Block, R. A., Hancock, P. A., & Zakay, D. (2000). Sex differences in duration judgments: A meta-analytic review. *Memory and Cognition, 28*(8), 1333–1346.

Block, R. A., Hancock, P. A., & Zakay, D. (2010). How cognitive load affects duration judgments: A meta-analytic review. *Acta Psychologica, 134*(3), 330–343.

Block, R. A., Hancock, P. A., & Zakay, D. (2016). Physical load affects duration judgments: A meta-analytic review. *Acta Psychologica, 165*, 43–47.

Brown, S. W. (2010). Timing, resources, and interference: Attentional modulation of time perception. In A. C. Nobre & J. T. Coull (Eds.), *Attention and time* (pp. 107–121). Oxford: Oxford University Press.

Buonomano, D. V., & Maass, W. (2009). State-dependent computations: Spatiotemporal processing in cortical networks. *Nature Reviews Neuroscience, 10*(2), 113–125.

Coughlin, C., Lyons, K. E., & Ghetti, S. (2014). Remembering the past to envision the future in middle childhood: Developmental linkages between prospection and episodic memory. *Cognitive Development, 30*, 96–110.

Darlow, H. M., Dylman, A. S., Gheorghiu, A. I., & Matthews, W. J. (2013). Do changes in the pace of events affect one-off judgments of duration?. *PLoS One, 8*(3), e59847.

Droit-Volet, S., & Berthon, M. (2017). Emotion and implicit timing: The arousal effect. *Frontiers in Psychology, 8*, 176.

Droit-Volet, S., & Meck, W. H. (2007). How emotions colour our perception of time. *Trends in Cognitive Sciences, 11*(12), 504–513.

Dzaack, J., Tröesterer, S., Pape, N., & Urbas, L. (2007). A computational model of retrospective time estimation. *Cognitive Systems Research, 8*(3), 208–215.

Eichenbaum, H. (2013). Memory on time. *Trends in Cognitive Sciences, 17*(2), 81–88.

El Haj, M., & Kapogiannis, D. (2016). Time distortions in Alzheimer's disease: A systematic review and theoretical integration. *NPJ Aging and Mechanisms of Disease, 2*, 16016.

El Haj, M., Moroni, C., Samson, S., Fasotti, L., & Allain, P. (2013). Prospective and retrospective time perception are related to mental time travel: Evidence from Alzheimer's disease. *Brain and Cognition, 83*(1), 45–51.

El Haj, M., Nandrino, J. L., Kessels, R. P. C., Matton, C., Bacquet, J. E., Urso, L., & Antoine, P. (2017). Retrospective time perception in Korsakoff's syndrome. *The Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neurosciences, 29*, 319–325.

El Haj, M., Omigie, D., & Moroni, C. (2014). Time reproduction during high and low attentional tasks in Alzheimer's disease "A watched kettle never boils". *Brain and Cognition, 88*, 1–5.

Firmino, É. A., Bueno, J. L. O., & Bigand, E. (2009). Travelling through pitch space speeds up musical time. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal, 26*(3), 205–209.

Fraisse, P. (1984). Perception and estimation of time. *Annual Review of Psychology, 35*(1), 1–37.

Freton, M., Lemogne, C., Bergouignan, L., Delaveau, P., Lehéricy, S., & Fossati, P. (2014). The eye of the self: Precuneus volume and visual perspective during autobiographical memory retrieval. *Brain Structure and Function, 219*(3), 959–968.

Fung, B. J., Crone, D. L., Bode, S., & Murawski, C. (2017). Cardiac signals are independently associated with temporal discounting and time perception. *Frontiers in Behavioral Neuroscience, 11*, 1.

Gable, P. A., & Poole, B. D. (2012). Time flies when you're having approach-motivated fun: Effects of motivational intensity on time perception. *Psychological Science, 23*, 879–886.

Grondin, S. (2010). Timing and time perception: A review of recent behavioral and neuroscience findings and theoretical directions. *Attention, Perception, and Psychophysics, 72*(3), 561–582.

Grondin, S., & Plourde, M. (2007). Judging multi-minute intervals retrospectively. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 60*(9), 1303–1312.

Gu, B. M., van Rijn, H., & Meck, W. H. (2015). Oscillatory multiplexing of neural population codes for interval timing and working memory. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews, 48*, 160–185.

Hintzman, D. L. (2016). Is memory organized by temporal contiguity?. *Memory and Cognition, 44*(3), 365–375.

Howard, M. W., MacDonald, C. J., Tiganj, Z., Shankar, K. H., Du, Q., Hasselmo, M. E., & Eichenbaum, H. (2014). A unified mathematical framework for coding time, space, and sequences in the hippocampal region. *Journal of Neuroscience, 34*(13), 4692–4707.

Ivry, R. B., & Schlerf, J. E. (2008). Dedicated and intrinsic models of time perception. *Trends in Cognitive Sciences, 12*(7), 273–280.

Jack, F., Friedman, W., Reese, E., & Zajac, R. (2016). Age-related differences in memory for time, temporal reconstruction, and the availability and use of temporal landmarks. *Cognitive Development, 37*, 53–66.

Janssen, S. M. J. (2017). Autobiographical memory and the subjective experience of time. *Timing and Time Perception, 5*(1), 99–122.

Kashiwakura, S., & Motoyoshi, I. (2017). Relative time compression for slow-motion stimuli through rapid recalibration. *Frontiers in Psychology, 8*, 1195.

Lake, J. I. (2016). Recent advances in understanding emotion-driven temporal distortions. *Current Opinion in Behavioral Sciences, 8*, 214–219.

MacDonald, C. J. (2014). Prospective and retrospective duration memory in the hippocampus: Is time in the foreground or background?. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Science, 369*(1637), 20120463.

MacDonald, C. J., Fortin, N. J., Sakata, S., & Meck, W. H. (2014). Retrospective and prospective views on the role of the hippocampus in interval timing and memory for elapsed time. *Timing and Time Perception, 2*(1), 51–61.

MacDonald, C. J., Lepage, K. Q., Eden, U. T., & Eichenbaum, H. (2011). Hippocampal "time cells" bridge the gap in memory for discontiguous events. *Neuron, 71*(4), 737–749.

Martin, B., Wittmann, M., Franck, N., Cermolacce, M., Berna, F., & Giersch, A. (2014). Temporal structure of consciousness and minimal self in schizophrenia. *Frontiers in Psychology, 5*, 1175.

Matthews, W. J. (2013). How does sequence structure affect the judgment of time? Exploring a weighted sum of segments model. *Cognitive Psychology, 66*(3), 259–282.

Matthews, W. J., & Meck, W. H. (2016). Temporal cognition: Connecting subjective time to perception, attention, and memory. *Psychological Bulletin, 142*(8), 865–907.

Mioni, G., Stablum, F., McClintock, S. M., & Grondin, S. (2014). Different methods for reproducing time, different results. *Attention, Perception, and Psychophysics, 76*(3), 675–681.

Naya, Y., & Suzuki, W. A. (2011). Integrating what and when across the primate medial temporal lobe. *Science, 333*(6043), 773–776.

Nicholas, B. (2015). How could circadian clock genes influence short duration timing?. In *Time distortions in mind* (pp. 356–381). Leiden, The Netherlands: Brill Academic Pub.

Noulhiane, M., Pouthas, V., Hasboun, D., Baulac, M., & Samson, S. (2007). Role of the medial temporal lobe in

time estimation in the range of minutes. *Neuroreport, 18*(10), 1035–1038.

Pathman, T., Doydum, A., & Bauer, P. J. (2013). Bringing order to life events: Memory for the temporal order of autobiographical events over an extended period in school-aged children and adults. *Journal of Experimental Child Psychology, 115*(2), 309–325.

Pathman, T., & Ghetti, S. (2014). The eyes know time: A novel paradigm to reveal the development of temporal memory. *Child Development, 85*(2), 792–807.

Pfeuty, M., Dilharreguy, B., Gerlier, L., & Allard, M. (2015). fMRI identifies the right inferior frontal cortex as the brain region where time interval processing is altered by negative emotional arousal. *Human Brain Mapping, 36*(3), 981–995.

Sahakyan, L., & Smith, J. R. (2014). "A long time ago, in a context far, far away": Retrospective time estimates and internal context change. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 40*(1), 86–93.

Staddon, J. E. R. (2005). Interval timing: Memory, not a clock. *Trends in Cognitive Sciences, 9*(7), 312–314.

Szpunar, K. K., & Schacter, D. L. (2013). Get real: Effects of repeated simulation and emotion on the perceived plausibility of future experiences. *Journal of Experimental Psychology: General, 142*(2), 323–327.

Thoenes, S., & Oberfeld, D. (2017). Meta-analysis of time perception and temporal processing in schizophrenia: Differential effects on precision and accuracy. *Clinical Psychology Review, 54*, 44–64.

Tobin, S., Bisson, N., & Grondin, S. (2010). An ecological approach to prospective and retrospective timing of long durations: A study involving gamers. *PLoS One, 5*(2), e9271.

Vallesi, A., Arbula, S., & Bernardis, P. (2014). Functional dissociations in temporal preparation: Evidence from dual-task performance. *Cognition, 130*(2), 141–151.

Wearden, J. H. (2016). Retrospective timing and passage of time judgements. In J. H. Wearden (Ed.), *The psychology of time perception* (pp. 117–141). London: Palgrave Macmillan.

Weiler, J. A., Suchan, B., & Daum, I. (2010). Foreseeing the future: Occurrence probability of imagined future events modulates hippocampal activation. *Hippocampus, 20*(6), 685–690.

Wiener, M., Lohoff, F. W., & Coslett, H. B. (2011). Double dissociation of dopamine genes and timing in humans. *Journal of Cognitive Neuroscience, 23*(10), 2811–2821.

Wiener, M., Turkeltaub, P. E., & Coslett, H. B. (2010). Implicit timing activates the left inferior parietal cortex. *Neuropsychologia, 48*(13), 3967–3971.

Wittmann, M. (2013). The inner sense of time: How the brain creates a representation of duration. *Nature Reviews Neuroscience, 14*(3), 217–223.

Yamada, Y., & Kawabe, T. (2011). Emotion colors time perception unconsciously. *Consciousness and Cognition, 20*(4), 1835–1841.

Zakay, D., & Block, R. A. (2004). Prospective and retrospective duration judgments: An executive-control perspective. *Acta Neurobiologiae Experimentalis, 64*(3), 319–328.

Timing mechanism of retrospective duration estimation

YANG Lianlian; HUANG Xiting; YUE Tong; LIU Peiduo

(*Faculty of Psychology, Southwest University, Chongqing* 400715, *China*)

Abstract: Memory is a vital component of retrospective duration estimation, which is either assessed by the interval between two successive events, or the duration of an event after it has ended. Retrospective duration estimation can be divided into two types: close-range and long-distance. The timing mechanisms of both are related to memory; however, they have distinct foci. The former focuses on short-term memory or long-term memory; here, direct evidence is derived from the immediate recall of a single or multiple cognitive tasks to estimate time, while indirect evidence refers to the influence of physical, physiological, and psychological factors. The latter emphasizes the role of autobiographical memory, as evidenced by the measurement mode of a questionnaire or an interview and the influencing factors of subject-object characteristics. Future research should focus on further extending the timing mechanism of retrospective duration estimation in an integrated manner, expand the research of behavioral measurement, and explore the basis of neurobiology for retrospective duration estimation.

Key words: retrospective duration estimation; timing mechanism; autobiographical memory; temporal distance; temporal landmarks